

## Regulating exhaust gas recirculation rate of internal combustion engine

**Patent number:** DE19603472  
**Publication date:** 1997-08-07  
**Inventor:** WENZLAWSKI KLAUS DR (DE); FRIEDRICH ARNO (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: F02D45/00; F02D21/08  
- european: F02D21/08B  
**Application number:** DE19961003472 19960131  
**Priority number(s):** DE19961003472 19960131

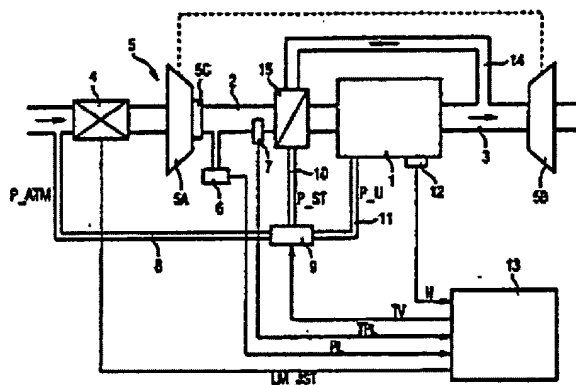
**Also published as:**



US5791319 (A1)  
FR2744173 (A1)

## Abstract of DE19603472

A theoretical air mass value is calculated, which is fed to the engine (1) at the time when no exhaust gas recirculation is active. The air mass value, corresponding to the actual extent of delivery, is corrected dependent upon the operating point by a correction factor. An actual value for the exhaust gas recirculation rate is calculated from the corrected air mass value and from the actual value of the air mass. Theoretical values for the exhaust gas recirculation rate are memory-stored in percentages dependent upon the operating point.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 03 472 A 1

51 Int. Cl. 8:  
F 02 D 45/00  
F 02 D 21/08

21 Aktenzeichen: 196 03 472.8  
22 Anmeldetag: 31. 1. 96  
43 Offenlegungstag: 7. 8. 97

DE 196 03 472 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

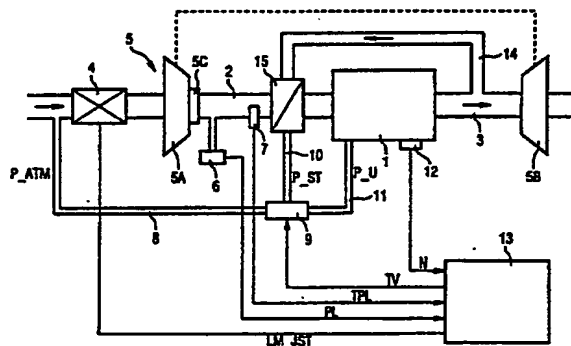
72 Erfinder:  
Friedrich, Arno, 93047 Regensburg, DE; Wenzlawski,  
Klaus, Dr., 90429 Nürnberg, DE

58 Entgegenhaltungen:  
DE 1 95 02 368 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Steuerung einer Abgasrückführvorrichtung einer Brennkraftmaschine

57 Der Istwert der Abgasrückführrate wird aus der vom Luftmassenmesser gemessenen aktuellen Luftmasse und einer theoretischen Luftmasse, die sich ohne Abgasrückführung ergeben würde, berechnet. Aus einem lastabhängig gespeicherten Sollwert und dem Istwert für die Abgasrückführrate wird die Differenz gebildet, diese einer Regeleinrichtung zugeführt, die das Abgasrückführventil derart ansteuert, daß sich der Sollwert der Abgasrückführrate einstellt.



DE 196 03 472 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 97 702 032/122

9/23

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Abgasrückführvorrichtung einer Brennkraftmaschine gemäß Oberbegriff von Patentanspruch 1 bzw. 2.

Abgasrückführvorrichtungen bei Brennkraftmaschinen dienen dazu, den Stickoxidanteil im Abgas zu reduzieren. Da das Abgas der Brennkraftmaschine in seinen wesentlichen Bestandteilen ein Inertgas ist, kann durch Zumischen von Abgas zur angesaugten Verbrennungsluft die Verbrennungsspitzen-temperatur gesenkt und damit der  $\text{NO}_x$ -Ausstoß reduziert werden. Die HC- und CO-Emission der Brennkraftmaschine kann durch die Abgasrückführung nicht verringert werden. Die Menge des rückgeführten Abgases, im allgemeinen als Abgasrückführ-*rate* bezeichnet, muß sogar möglichst genau eingestellt werden, da sonst ein Anstieg der HC- und CO-Anteile im Abgas erfolgt.

Die Einstellung dieser Abgasrückführ-*rate* erfolgt in der Regel über ein den Öffnungsquerschnitt einer den Abgastrakt mit dem Ansaugtrakt verbindenden Rückführleitung beeinflussendes elektrisch oder pneumatisch ansteuerbares Ventil.

In bekannten Motorsteuerungen wird die Ansteuergröße für das Abgasrückführventil mit einem Steuer- oder Regelalgorithmus berechnet. Nachteil einer reinen Steuerung ist die Ungenauigkeit der Abgasrückführ-*rate*, die sich aufgrund unterschiedlicher Umgebungsbedingungen sowie durch Streuungen der Stellmechanik untereinander ergibt. Durch eine Regelung lassen sich diese Ungenauigkeiten abfangen. Dabei wird im allgemeinen als Führungsgröße der Regelungseinrichtung die aktuelle Luftmasse mit einem Luftmassenmesser erfaßt und mit einem Soll-Luftmassenwert verglichen. Eine solche Vorgehensweise hat den Nachteil, daß die eigentliche Abgasrückführ-*rate*, die ja die charakteristische Größe für die Abgasrückführung darstellt, nicht ersichtlich ist. Das Fehlen dieser Größe erschwert die Abstimmung unnötig.

Aus der DE 31 45 527 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung der vom Abgassystem einer Brennkraftmaschine zur Saugseite rückgeführten Abgasmenge bekannt, bei der die angesaugte Luftmenge mit einem in Abhängigkeit von Last und Drehzahl gebildeten Sollwert verglichen wird. Bei einer Abweichung, die größer ist als ein Minimalbetrag, werden Steuerimpulse für zwei Magnetventile gebildet, die je nach Abweichungsrichtung alternativ angesteuert werden und Druck aus zwei Druckquellen unterschiedlichen Niveaus im Arbeitsraum eines pneumatisch arbeitenden Stellgliedes eines Abgasrückführdosierungsventils leiten. Die Öffnungsdauer des jeweiligen Ventils ist abhängig von der Größe der Sollwertabweichung und bleibt bis zur gegenteiligen Korrektur ganz geöffnet, wenn die Sollwertabweichung einen bestimmten Höchstbetrag überschreitet. Die im Bereich zwischen minimaler und maximaler Abweichung vom Sollwert gebildeten Steuerimpulse werden jeweils nach einer bestimmten Wartezeit an die Magnetventile weitergegeben, wobei die Wartezeit drehzahlabhängig gemacht werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Steuern einer Abgasrückführvorrichtung anzugeben, mit dem auf einfache Weise die Abgasrückführ-*rate* auf einen vorgegebenen Sollwert eingestellt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 bzw. 2 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den

Unteransprüchen gekennzeichnet.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im folgenden unter Bezugnahme auf die schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

5 Fig. 1 ein stark vereinfachtes Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine mit einer Abgasrückführung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 ein Blockschaltbild zur Bestimmung der Ansteuergröße für die Abgasrückführung mit der Abgasrückführ-*rate* als Führungsgröße und

10 Fig. 3 ein Blockschaltbild zur Bestimmung der Ansteuergröße für die Abgasrückführung mit der Luftmasse als Führungsgröße.

In Fig. 1 ist eine Diesel-Brennkraftmaschine gezeigt, 15 wobei nur diejenigen Teile der Brennkraftmaschine dargestellt sind, die für das Verständnis der Erfindung nötig sind. Über einen Ansaugtrakt 2 erhält der Motor 1 die zur Verbrennung notwendige Frischluft und über einen Abgastrakt 3 werden die Abgase nach Konvertierung in einem nicht dargestellten Abgaskatalysator ausgestoßen. Ein im Ansaugtrakt 2 angeordneter Luftmassenmesser 4 erfaßt die aktuell angesaugte Luftmasse und gibt ein dieser Luftmasse entsprechendes Signal LM an eine elektronische Steuerungseinrichtung 13 der Brennkraftmaschine ab. Zur Erhöhung der Zylinderfüllung und damit zur Leistungssteigerung des Motors 1 ist ein an sich bekannter Abgasturbolader vorgesehen, dessen Turbinenrad 5B im Abgastrakt 3 angeordnet ist und über eine strichliert dargestellte, nicht näher bezeichnete 20 Welle mit einem Verdichterrad 5A im Ansaugtrakt 2 in Wirkverbindung steht. Somit treiben die Abgase die Turbine und diese wiederum den Verdichter an. Der Verdichter übernimmt das Ansaugen und liefert dem Motor eine vorverdichtete Frischladung. Ein dem Verdichter nachgeschalteter Ladeluftkühler 5C führt die Verdichtungswärme über den Kühlwasserkreislauf des Motors 1 ab. Dadurch kann die Zylinderfüllung weiter verbessert werden.

Um den Abgasturbolader den Erfordernissen des 40 Motors anzupassen, wird der Ladedruck der zugeführten verdichteten Frischluft mit Hilfe einer nicht dargestellten Ladedruckregelung geregelt. Damit wird der Motor vor zu hohen Ladedrücken in Abhängigkeit vom Betriebszustand und von Umgebungsbedingungen geschützt. Gleichzeitig kann die Drehzahl des Turboladers begrenzt und damit seine Lebensdauer erhöht werden.

Der Ladedruck PL und die Ladelufttemperatur TPL werden von entsprechenden Sensoren 6 und 7 im Ansaugtrakt 2 stromabwärts des Ladeluftkühlers 5C erfaßt und an die elektronische Steuerungseinrichtung 13 weitergegeben. Ebenso wird der Steuerungseinrichtung ein der Drehzahl N des Motors 1 entsprechendes Ausgangssignal eines Drehzahlsensors 12 zugeführt.

Zum Rückführen eines Teils des Abgases in der mit Pfeilsymbolen eingezeichneten Richtung ist eine Abgasrückführleitung 14 vorgesehen, die den Abgastrakt 3 mit dem Ansaugtrakt 2 derart verbindet, daß Abgas stromaufwärts des Turbinenrades 5B des Abgasturboladers abgezweigt wird und an einer Stelle stromabwärts des Ladeluftkühlers 5C wieder in den Ansaugtrakt 2 zurückgeführt wird.

In die Abgasrückführleitung 14 ist ein pneumatisches Abgasrückführventil 15 eingeschaltet. Um die jeweils optimale Abgasrückführ-*rate* einzustellen, wird das Abgasrückführventil 15 von der elektronischen Steuerungseinrichtung 13 über einen elektropneumatischen Wandler 9 mittels eines Tastverhältnisses TV angesteuert.

Der elektropneumatische Wandler 9 ist einerseits über eine Luftleitung 8 mit dem Ansaugtrakt 2 verbunden, wobei diese Leitung 8 in Strömungsrichtung der Ansaugluft gesehen vor dem Luftmassenmesser 4 abzweigt und deshalb an dieser Stelle der Umgebungsdruck  $P_{ATM}$  herrscht, andererseits über eine Luftleitung 11 mit einer Unterdruck  $P_U$  erzeugenden Stelle des Motors 1 verbunden. Ausgangsseitig übt der elektropneumatische Wandler 9 über einen Steuerdruck  $P_{ST}$  in einer Steuerleitung 10 auf das Abgasrückführventil 15 ein.

Anstelle des Systems elektropneumatischer Wandler/pneumatisches Abgasrückführventil kann auch ein elektrisch betätigtes Abgasrückführventil eingesetzt werden.

Anhand des Blockschaltbildes nach Fig. 2 wird eine erste Möglichkeit zur Berechnung einer Ansteuergröße für die Abgasrückführung angegeben, mit der sich die Abgasrückführrate direkt als Zahlenwert in % in der elektronischen Steuerungseinrichtung applizieren läßt. Als Führungsgröße dient dabei die Abgasrückführrate.

In dem Block 20 ist dabei der Motor der Brennkraftmaschine einschließlich der für den Betrieb der Brennkraftmaschine, insbesondere für den Betrieb mit einer Abgasrückführung notwendigen Sensoren wie Luftmassenmesser, Drehzahlsensor, Druck- und Temperatursensoren zusammengefaßt. In dem Block 21 wird eine theoretische Luftmasse ohne Abgasrückführung, auch als Basisluftmasse LMB bezeichnet, mit Hilfe der allgemeinen Gasgleichung berechnet:

$$LMB = \frac{PL * Vh}{R * TPL} \quad (1)$$

mit:

PL Ladedruck

Vh Zylinderhubvolumen

TPL Ladelufttemperatur (absolut)

R Gaskonstante.

Aufgrund des unterschiedlichen Liefergrades bei unterschiedlichen Betriebspunkten des Motors muß diese Basisluftmasse LMB dem Betriebspunkt angepaßt werden. Dies erfolgt mit Hilfe eines Korrekturfaktors  $KF_{LMB\_FAK}$ , der vom Betriebspunkt abhängig ist. In einem Speicher der elektronischen Steuerungseinrichtung 13 ist deshalb ein erstes Kennfeld vorgesehen, in dem abhängig von der Last und der Drehzahl verschiedene Werte für den Korrekturfaktor  $KF_{LMB\_FAK}$  abgelegt sind. Typische Werte für den Korrekturfaktor liegen zwischen 0,5 und 2,0.

Die betriebspunktabhängig korrigierte Basisluftmenge LMB ergibt sich somit zu

$$LMB = \frac{PL * Vh}{R * TPL} * KF_{LMB\_FAK} \quad (2)$$

Es wird also die Luftmasse berechnet, die dem Motor bei gleichen Bedingungen ohne Abgasrückführung zugeführt würde.

Der Istwert der Abgasrückführrate  $AGR_{IST}$  berechnet sich aus dieser korrigierten Basisluftmenge LMB und der aktuellen, tatsächlich vom Motor angesaugten Luftmasse, die vom Luftmassenmesser 4 (Fig. 1) gemessen wird und hier als Ist-Luftmasse  $LM_{IST}$  bezeichnet ist, nach folgender Beziehung (Block 22):

$$AGR_{IST} = (1 - LM_{IST}/LMB) * 100 \quad (3)$$

Zur Sollwertberechnung für die Regelung der Abgasrückführung ist ein weiteres Kennfeld vorgesehen, das in Abhängigkeit von der Last und der Drehzahl Werte für die Soll-Abgasrückführrate  $AGR_{SOLL}$  in % enthält (Block 23).

Zusätzlich kann dieser Sollwert  $AGR_{SOLL}$  noch von weiteren Parametern wie Kühlmitteltemperatur, Umgebungsdruck, Umgebungstemperatur etc. abhängig gemacht werden.

Der aus dem Kennfeld ausgelesene Sollwert  $AGR_{SOLL}$  und der berechnete Istwert  $AGR_{IST}$  werden einer Vergleichsstelle 16 zugeführt und mit der daraus ermittelten Differenz  $AGR_{DIF}$  aus Soll- und Ist-Abgasrückführrate wird ein Regler mit Proportional- oder Proportional/Integral-Verhalten betrieben (Block 24) und eine Stellgröße (Tastverhältnis TV) zur Ansteuerung des elektropneumatischen Wandlers und damit zur Steuerung des Abgasrückführventils (Block 25) berechnet.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Ansteuergröße für die Abgasrückführung besteht darin, mit der anhand Gleichung (2) errechneten theoretischen Luftmasse und der Soll-Abgasrückführrate eine Soll-Luftmasse zu berechnen. Dann wird die Luftmasse zur Führungsgröße des Reglers und die Regeldifferenz berechnet sich aus Soll-Luftmasse zu gemessener Luftmasse. Fig. 3 zeigt das zugehörige Blockschaltbild, wobei diejenigen Blöcke welche die gleichen > Funktionen wie in der Fig. 2 aufweisen mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. Aus der theoretischen Luftmasse LMB (Block 21) und dem Sollwert der Abgasrückführrate  $AGR_{SOLL}$ , der abhängig von der Last und der Drehzahl aus einem Kennfeld ausgelesen wird, wird in Block 26 ein Sollwert für die Luftmasse  $LM_{SOLL}$  nach folgender Beziehung berechnet:

$$LM_{SOLL} = LMB * (100\% - AGR_{SOLL}) \quad (4)$$

Dieser Sollwert  $LM_{SOLL}$  und der vom Luftmassenmesser gemessene Istwert  $LM_{IST}$  wird einer Vergleichsstelle 17 zugeführt und abhängig von der ermittelten Differenz  $AGR_{DIF}$  aus Soll- und Ist-Luftmassenwert wird ein Regler mit Proportional- oder Proportional/Integral-Verhalten betrieben (Block 24) und eine Stellgröße (Tastverhältnis TV) zur Ansteuerung des elektropneumatischen Wandlers und damit zur Steuerung des Abgasrückführventils (Block 25) berechnet.

Alternativ zur allgemeinen Gasgleichung läßt sich die theoretische Luftmasse mittels einer Reihe von Kennfeldern ermitteln, die in Abhängigkeit des Motorbetriebspunktes sowie des Ladedruckes und der Ansaugtemperatur abgestimmt werden müssen.

Der wesentliche Vorteil des beschriebenen Verfahrens liegt in einem geringen Abstimmungsaufwand und die deutliche Darstellung der gewünschten und der tatsächlichen Abgasrückführrate. Das erfindungsgemäße Verfahren wurde an einem Dieselmotor erläutert, es läßt sich aber sowohl auch an einem Ottomotor mit Abgasrückführung vorteilhaft einsetzen als auch bei Brennkraftmaschinen, die keinen Abgasturbolader aufweisen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln der Abgasrückführrate einer mit einem Abgasrückführungssystem arbei-

tenden Brennkraftmaschine mit einer den Abgast-  
rakt (3) mit dem Ansaugtrakt (2) verbindenden Ab-  
gasrückführleitung (14), deren Öffnungsquerschnitt  
mittels eines steuerbaren Abgasrückführventils  
(15) beeinflussbar ist gekennzeichnet dadurch, daß

- ein theoretischer Luftmassenwert (LMB) berechnet wird, der der Brennkraftmaschine zum jeweiligen Zeitpunkt zugeführt werden würde, wenn keine Abgasrückführung aktiv wäre,
- dieser Luftmassenwert (LMB) entsprechend dem aktuellen Liefergrad betriebspunktabhängig mittels eines Korrekturfaktors (KF LMB FAK) korrigiert wird,
- aus dem korrigierten theoretischen Luftmassenwert (LMB) und aus dem Istwert der Luftmasse (LM IST) ein Istwert für die Abgasrückführrate (AGR IST) berechnet wird,
- Sollwerte für die Abgasrückführrate (AGR SOLL) in [%] betriebspunktabhängig gespeichert sind und
- aus dem Sollwert (AGR SOLL) und dem Istwert (AGR IST) der Abgasrückführrate die Differenz (AGR DIF) gebildet und einer Regeleinrichtung (24) zugeführt wird, die das Abgasrückführventil (15) derart ansteuert, daß sich der Sollwert der Abgasrückführrate einstellt.

2. Verfahren zum Regeln der Abgasrückführrate einer mit einem Abgasrückführungssystem arbeitenden Brennkraftmaschine mit einer den Abgast-  
rakt (3) mit dem Ansaugtrakt (2) verbindenden Ab-  
gasrückführleitung (14), deren Öffnungsquerschnitt  
mittels eines steuerbaren Abgasrückführventils  
(15) beeinflussbar ist gekennzeichnet dadurch, daß

- ein theoretischer Luftmassenwert (LMB) berechnet wird, der der Brennkraftmaschine zum jeweiligen Zeitpunkt zugeführt werden würde, wenn keine Abgasrückführung aktiv wäre,
- dieser Luftmassenwert (LMB) entsprechend dem aktuellen Liefergrad betriebspunktabhängig mittels eines Korrekturfaktors (KF LMB FAK) korrigiert wird,
- Sollwerte für die Abgasrückführrate (AGR SOLL) in [%] betriebspunktabhängig gespeichert sind,
- aus dem korrigierten theoretischen Luftmassenwert (LMB) und aus dem Sollwert (AGR SOLL) ein Sollwert für die Luftmasse (LM SOLL) berechnet wird,
- aus diesem Sollwert (LM SOLL) und dem Istwert der Luftmasse (LM IST) die Differenz (LM DIF) gebildet und einer Regeleinrichtung (24) zugeführt wird, die das Abgasrückführventil (15) derart ansteuert, daß sich der Sollwert der Abgasrückführrate einstellt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der theoretische Luftmassenwert (LMB) mittels der allgemeinen Gasgleichung

$$LMB = \frac{PL * VH}{R * TPL}$$

berechnet wird

mit:

PL: Druck im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine

Vh: Zylinderhubvolumen

TPL: Temperatur im Ansaugtrakt (absolut)

R: Gaskonstante.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der theoretische Luftmassenwert (LMB) aus einer Anzahl von Kennfeldern ermittelt wird, die in Abhängigkeit des Motorbetriebspunktes, des Ansaugdruckes und der Ansaugtemperatur bestimmt sind.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Differenz (AGR DIF) ein Regler mit Proportional- oder Proportional/Integralverhalten betrieben wird, dessen Ausgang eine Stellgröße (TV) für das Abgasrückführventil liefert.

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Differenz (LM DIF) ein Regler mit Proportional- oder Proportional/Integralverhalten betrieben wird, dessen Ausgang eine Stellgröße (TV) für das Abgasrückführventil liefert.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert für die Abgasrückführrate (AGR SOLL) abhängig von der Kühlmitteltemperatur und/oder der Umgebungstemperatur und/oder vom Umgebungsdruck in einem Kennfeld abgelegt ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Istwert für die Abgasrückführrate (AGR IST) nach folgender Gleichung berechnet wird:

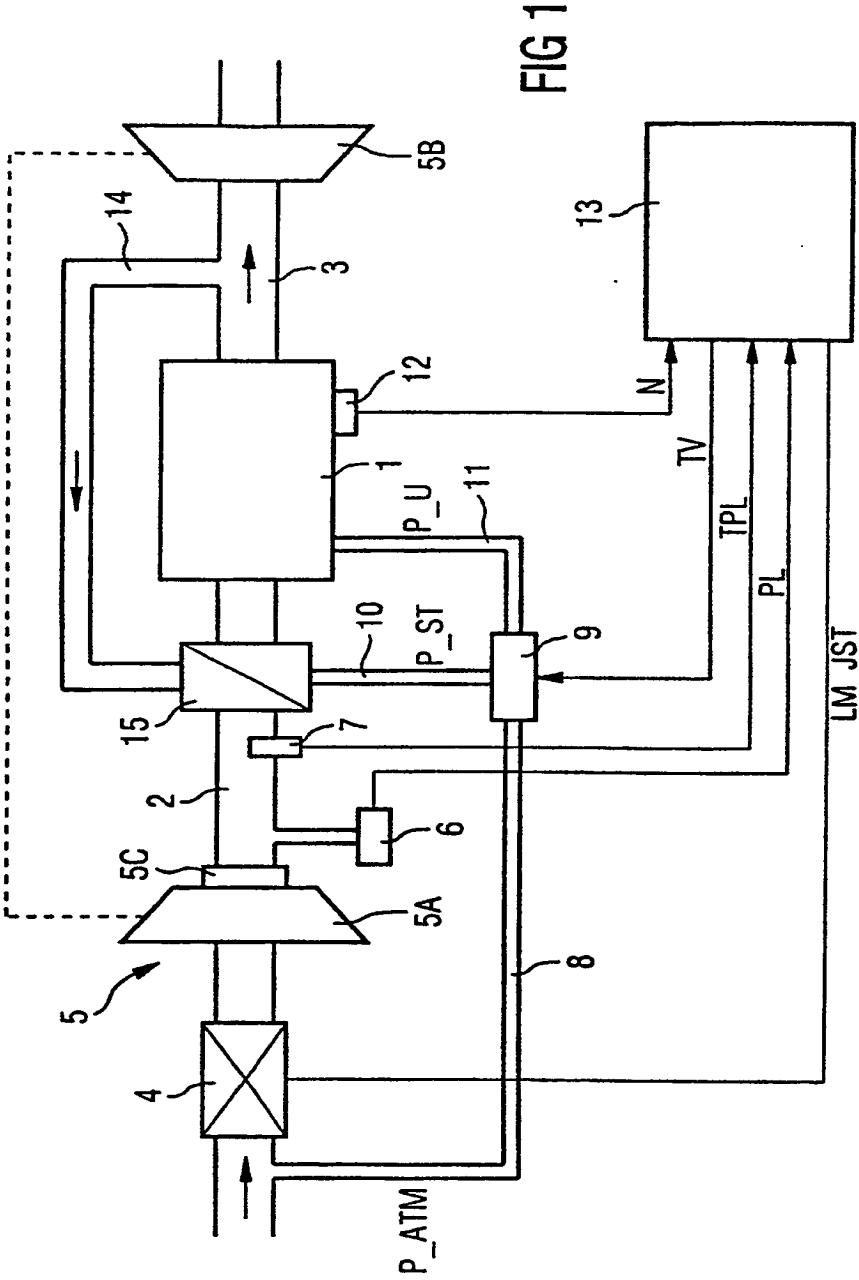
$$AGR\_IST = (1 - LM\_IST/LMB) * 100.$$

9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert für die Luftmasse (LM SOLL) nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$LM\_SOLL = LMB * (100\% - AGR\_SOLL).$$

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





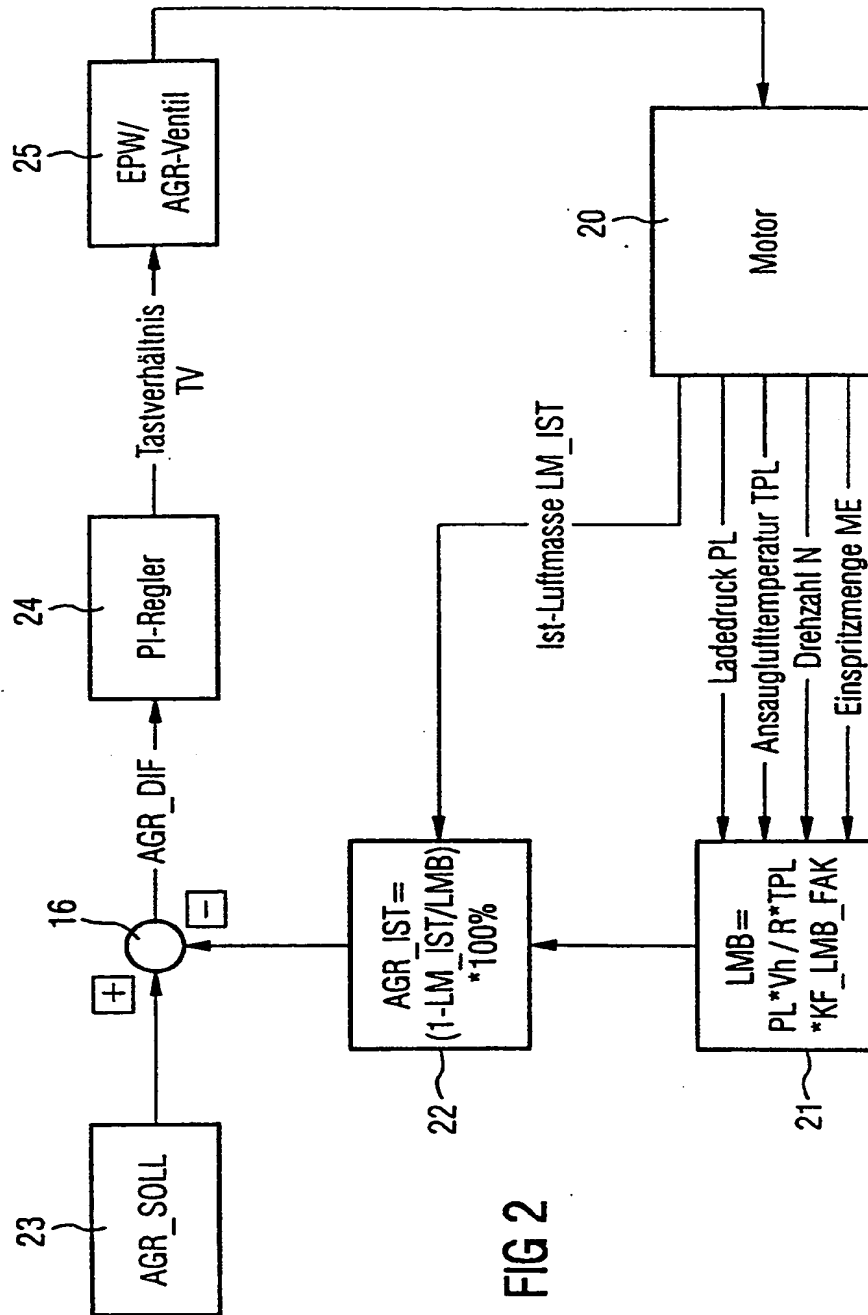


FIG 2

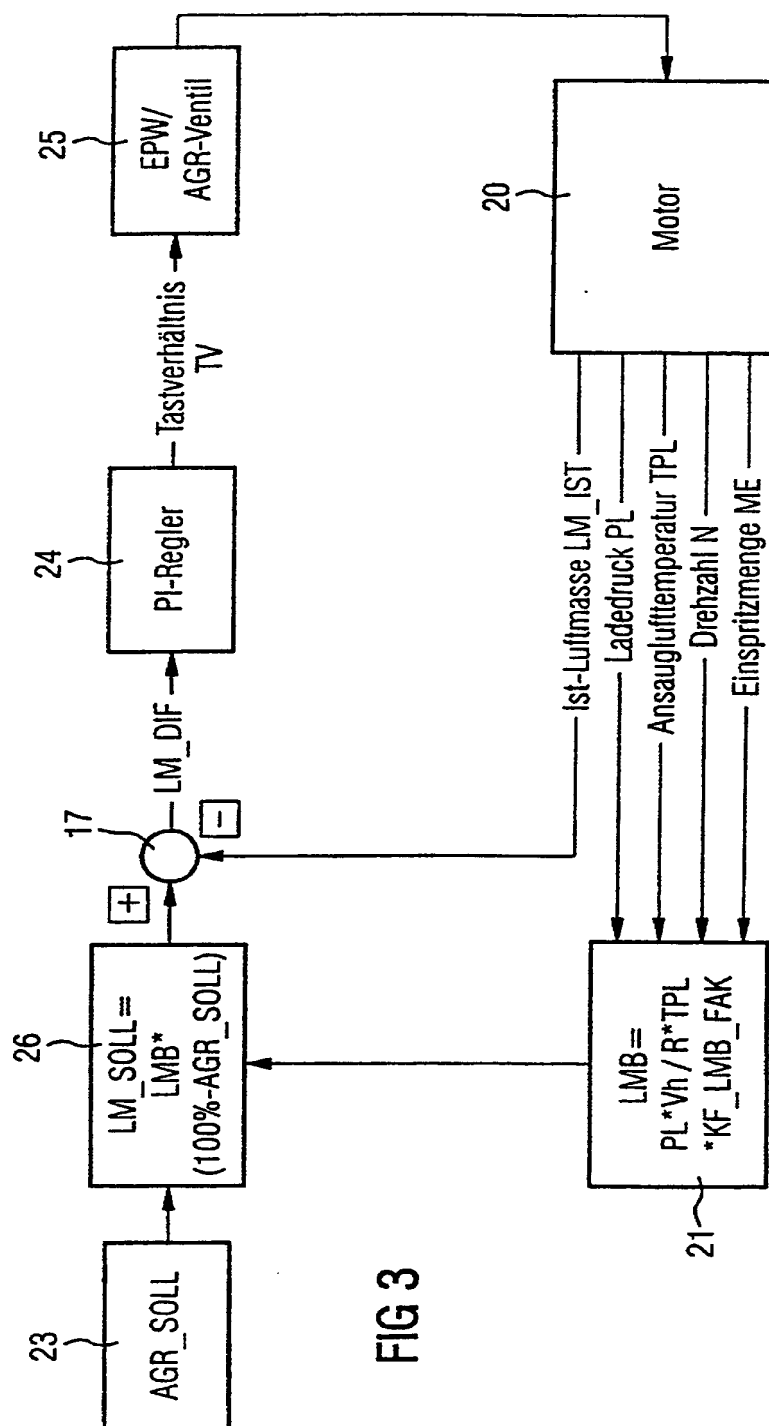


FIG 3